

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Iva Soža

**Raznolikost fitoplanktona u plitkoj eutrofnoj uvali
Makirina i Morinjskom zaljevu (istočna obala
srednjeg Jadranskog mora)**

Diplomski rad

Zagreb, 2019.

Ovaj rad, izrađen u Laboratoriju za biološku oceanografiju na Botaničkom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Zrinke Ljubešić, predan je na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistra Ekologije i zaštite prirode.

Zahvale

Veliko hvala mojoj mentorici izv.prof.dr.sc. Zrinki Ljubešić na ukazanoj prilici, strpljenju i trudu te veselim trenucima u uredu. Zahvaljujem se također cijelom timu 'gore na algama' – Maji, Sunčici i Hrvoju.

Zahvaljujem se Oikon d.o.o. na prilici da izrađujem svoj diplomski rad u sklopu njihovog projekta i skupljam uzorke u sklopu njihovih terenskih istraživanja. Posebno hvala dr. sc. Zrinki Mesić na ukazanoj prilici te timu divnih terenskih suputnica- Ani, Neli i Sonji. Napuhivanje i ispuhivanje gumenjaka nikad više neću gledati istim očima!

Neizostavno hvala biološkoj stanici Instituta Ruđera Bošković u Martinskoj i dr.sc. Nevenu Curaviću na ukazanom povjerenju i posudbi CTD sonde, te tehničkoj pomoći Tomislava Bulata- ona kilometarska veslanja bi bila dosadna bez naših kreštavih dueta.

Od samog početka do kraja, pomoglo mi je puno dragih ljudi:

Tabea- for helping me realize I want to finish my second Master;

Tatjana- for the patience and that one whole day of sitting with me in the cafe;

Nathan- because you have to be a part of every thesis I write;

Max and Ant Thu- because Karl can't be here without Poland and China;

Sonja- na uvijek zabavnim terenima;

Sven- na skupljanju i 'prodaji' mog indeksa;

Aleksandra- na posudbi miša i strogoj radnoj atmosferi;

Lina- na najboljoj čokoladi na svijetu;

Katarine Velike- na samanthastim izjavama i nasmijavanju do suza;

Ivan- na deadliftu, formattingu, listama i svemu ostalome...

...Hvala!

Na kraju, najboljem tandemu stoljeća, mami i tati- najveće hvala!

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Raznolikost fitoplanktona u plitkoj eutrofnoj uvali Makirina i Morinjskom zaljevu (istočna obala srednjeg Jadranskog mora)

Iva Soža

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Obalne lagune su plitka, kompleksna staništa definirana fluktuacijama u salinitetu i temperaturi. Zbog svoje kompleksnosti su rijetki i ugroženi ekosustavi zaštićeni u sklopu ekološke mreže Natura 2000 po direktivama Europske Unije. Uvala Makirina i Morinjski zaljev predstavljaju plitke obalne lagune istočne obale srednjeg Jadrana čiju podlogu čini fino, peloidno blato. Između podloge bogate hranjivim solima i površine vodenog stupca, nalazi se zajednica fitoplanktona koja, kao predloženi bioindikator, daje informaciju o ekološkom stanju dvaju obalnih laguna. Provedeno je istraživanje ekološkog stanja dvaju obalnih laguna u proljeće i ljeto 2018. godine u sklopu projekta „Priprema stručne podloge za zaštitu prirode za zahvate korištenja i eksploatacije peloida područja ekološke mreže NATURA 2000 na području uvale Makirina i zaljeva Morinje“ (Oikon d.o.o. – Institut za primijenjenu ekologiju, 2018) kako bi se ustanovilo ekološko stanje dvaju priobalnih ekosustava, usporedilo fitoplanktonske zajednice te procijenilo postojanje indikatorskih vrsta eutrofije. Sastav fitoplanktona u uvali Makirina i zaljevu Morinje je vrlo sličan te u ekosistemima prevladavaju penatne dijatomeje i nanoplanktonski dinoflagelati. Dominacija dinoflagelatnih vrsta roda *Prorocentrum* upućuje na izrazito eutrofno stanje oba ekosustava te veliki antropogeni utjecaj, a uočena vrsta roda *Alexandrium* upućuje na potencijalnu toksičnost fitoplanktona. Iako deskriptori kakvoće obalnih voda po direktivama Europske Unije ne uključuju sastav fitoplanktona, dobiveni rezultati ovog istraživanja ukazuju kako je sastav fitoplanktona jako dobar pokazatelj trofije i ekološkog stanja priobalnih ekosustava te upućuju na potrebu uključivanja sastava fitoplanktona na popis bioindikatora kvalitete vode po direktivama Europske Unije.

(xx stranica, 12 slika, 6 tablica, xx literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Ključne riječi: fitoplankton, obalne lagune, eutrofikacija

Voditelj: izv.prof.dr.sc. Zrinka Ljubešić

Ocjenitelji: 1. Izv.prof.dr.sc. Zrinka Ljubešić

2. Izv.prof.dr.sc. Petar Kružić

3. Doc.dr.sc. Duje Lisičić

Rad je prihvaćen xx. Mjesec 2019.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Biološki odsjek
Department of Biology

Graduation Thesis

Phytoplankton diversity in shallow eutrophic Makirina cove and Morinje bay (eastern coast of middle Adriatic sea)

Iva Soža

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

Coastal lagoons are shallow, complex habitats defined by fluctuations in salinity and temperature. Due to its complexity, these rare and endangered ecosystems are protected under directives of European Union, as a part of the Natura 2000 ecological network. Makirina bay and Morinje inlet represent shallow coastal lagoons of the eastern coast of the middle Adriatic, whose sediment floor is made of fine, peloid mud. Water column between surface and nutrient rich sediment floor is covered with phytoplankton communities that, proposed as bioindicators, provide information on the ecological status of two coastal lagoons. An investigation of the ecological condition of the two coastal lagoons was carried out in the spring and summer of 2018 as a part of the project "Preparation of expert background for nature protection for the use and exploitation of the area of the NATURA 2000 ecological network in the area of Makirina bay and Morinje bay" (Oikon Ltd. - Institute of Applied Ecology, 2018) to establish the ecological status of two coastal ecosystems, compare the phytoplankton community and assess the existence of indicators of eutrophication. The composition of the phytoplankton in the bay of Makirina and Morinje inlet is very similar and ecosystems are dominated by diatoms and small nano fraction dinoflagellates. The dominance of the dinoflagellate *Prorocentrum* species suggests a very eutrophic state of both ecosystems and great anthropogenic influence. The observed species of *Alexandrium* indicates to the toxicity of the phytoplankton. Although the descriptors of coastal water quality according to the EU directives do not include phytoplankton composition, the results of this study indicate that the composition of phytoplankton is a very good indicator of trophic levels and the ecological status of coastal ecosystems, and points out the need to include phytoplankton composition in the list of water quality indicators under the EU directives.

(xx pages, 12 figures, 6 tables, xx references, original in: Croatian)

Thesis deposited in the Central Biological Library.

Key words: phytoplankton, coastal lagoons, eutrophication

Supervisor: dr.sc. Zrinka Ljubešić, Associate professor

Reviewers: 1. PhD Zrinka Ljubešić, Associate professor

2. PhD Petar Kružić, Associate professor

3. PhD Duje Lisičić, Assistant Professor

Thesis accepted: xx of month 2019.

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Plitke obalne lagune	2
1.2. Fitoplankton.....	3
1.3. Sastav fitoplanktonske zajednice kao bioindikator stanja ekosustava	4
1.4. Cilj istraživanja	7
2. Materijali i metode	8
2.1. Morinjski zaljev	9
2.2. Uvala Makirina	9
2.3. Opis postaja i vrijeme istraživanja	9
2.4. Abundancija fitoplanktona	13
2.5. Klorofil a	15
2.6. Statistička analiza	17
3. Rezultati	18
3.2. Dominantne skupine i vrste u uvali Makirina	25
3.3. Koncentracija klorofila a	27
3.4. Sastav nanofitoplanktona	28
3.5. Sastav mikrofitoroplanktona	30
3.6. Odnos sastava fitoplanktona	32
4. Rasprava.....	37
4.1. Klorofil a	38
4.2. Nanofitoplankton.....	38
4.3. Mikrofitoroplakton	39
4.4. Indikatorske vrste.....	40
4.5. Usporedba ekosustava uvale Makirina i zaljeva Morinje i ekološko stanje	41
5. Zaključak	44
6. Literatura	46

1.

Uvod

1.1. Plitke obalne lagune

Plitke obalne uvale i lagune su specifična staništa koja su zaštićena zbog svoje rijetkosti i ranjivosti naspram brzih promjena u okolišu (plima i oseka, izviranje slatke vode) te intenzivnog korištenja zemlje u obalnoj zoni (Bintz i sur., 2003). Zaštićene su u sklopu nekoliko različitih direktiva Europske Unije koji promoviraju i potpomažu očuvanje ovakvih i sličnih područja te se nalaze pod Natura 2000 ekološkom mrežom koja obuhvaća područja važna za očuvanje ugroženih vrsta i stanišnih tipova.

Uvala Makirina i Morinjski zaljev predstavljaju plitke obalne lagune istočne obale srednjeg Jadrana. Duboko su uvučene u kopno i djelomično izolirane od otvorenog mora. Njihova geomorfologija, kao i povremena izviranja slatke vode, ih čini kompleksnim eutrofnim staništima koja su nedovoljno istražena.

Glavni razlozi ugroženosti obalnih laguna (i ostalih obalnih staništa) su onečišćenje vode i eutrofikacija, gubitak biološke raznolikosti, urbanistički razvoj i širenje, deterioracija okoliša i erozija obale (Environment, 2017). Posebice zato što se nalaze na granici plime i oseke, obalne lagune doživljavaju promjene koje su uvelike uzrokovane ljudskim ekonomskim aktivnostima kao što su turizam i agrikultura (European Environment Agency, 2009) te koje ponajviše pridonose eutrofikaciji i onečišćenju vode.

Eutrofikacija je proces obogaćenja vode nutrijentima, posebice dušikom i/ili fosforom (Nixon, 1995) koji dovodi do povećanja rasta, primarne produkcije i biomase algi i fitoplanktona. Također, dolazi do promjene u ravnoteži sastava organizama i zajednice te degradacije kvalitete vode. Posljedice eutrofikacije mogu biti pogubne za zdravlje i bioraznolikost ekosustava.

Budući da su dušik i fosfor ključni inorganski nutrijenti odgovorni za eutrofikaciju, svaki dodatan dotok tih nutrijenata pospješuje eutrofikaciju. Plitke obalne lagune, kao što su uvala Makirina i zaljev Morinje, koje se nalaze na graničnom obalnom dijelu gdje se jasno vidi jaki utjecaj ljudskih aktivnosti (agrikultura u vidu maslinika, turizam i odlaganje glomaznog otpada), su pod iznimnim pritiskom eutrofikacije.

Dosadašnja istraživanja eutrofikacije su bila usmjerena na kopnena staništa (jezera i rijeke), dok je eutrofikacija morskih staništa, posebice graničnih morskih staništa, kao što su plitke obalne uvale i lagune, bila donedavno zanemarivana tema, koja je tek u posljednjih dva desetljeća doživljela povećani interes znanosti (Smith i sur., 2006). Dolaskom Direktive Europskog Parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za djelovanje zajednice u području vodne politike (eng. Water Framework Directive 2000/60/EC - WFD), zemlje članice Europske Unije su dužne ostvariti dobar kvalitativni i kvantitativni status vode (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>). Jedan od deskriptora dobrog okolišnog statusa (eng. Good Environmental Status-GES) je i smanjenje eutrofikacije utjecane ljudskim djelovanjem (http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-5/index_en.htm).

1.2. Fitoplankton

Fitoplankton čine jednostanične i kolonijalne autotrofne i miksotrofne alge koje su odgovorne za za otprilike polovicu (46,2%) ukupne svjetske neto primarne proizvodnje (Field i sur., 1998). To je veličinski, morfološki i taksonomski vrlo raznolika skupina. Postoje tri veličinske frakcije fitoplanktona: pikofitoplankton (0,2 – 2 µm), nanofitoplankton (2 – 20 µm) i mikrofifoplankton (20 – 200 µm). Pikofitoplankton čine pikoeukarioti i cijanobakterije (jednostanični prokariotski organizmi). U toj skupini, svojom abundancijom dominira cijanobakterija *Prochlorococcus*, specifična po sitnoj veličini stanice (0.5-0.8 µm) i pigmentaciji (divinil klorofil *a* i *b*) (Chisholm i sur., 1992). Mikrofifoplankton čine dijatomeje (alge kremenjašice), čija je stijenka izgrađena od silicijeva dioksida, dinoflagelati koji su prepoznatljivi po dva različita biča, te kokolitoforidi čija je površina stanica prekrivena plčićama kalcita, tzv. kokolitama. Nanofitoplankton je sačinjen od manjih dinoflagelata, kokolitoforida, kriptofita i zelenih bičša, te ova frakcija čini većinu morskog fitoplanktona (skupine Dinophyta, Haptophyta, Cryptophyta i Chlorophyta). Opisano je 4000 morskih vrsta fitoplanktonskih organizama raspoređenih u 500 rodova (Sournia i sur., 1991).

Fitoplankton obitava u eutrofičkom sloju tj. površinskom sloju vode gdje je dostupna dovoljna količina svjetlosti za obavljanje fotosinteze. Najvažniji pigment za proces fotosinteze je klorofil *a* koji je prisutan u svim algama. Klorofil *a* te ostali pigmenti nalaze se raspoređeni u plastidima

kod eukariota, a kod cijanobakterija se nalaze uz tilakoide u fikobilisomima. U procjenama stanja kvalitete morskih ekosustava, klorofil *a* je najčešće korišten kao bioindikator (Ferreira i sur., 2011).

1.3. Sastav fitoplanktonske zajednice kao bioindikator stanja ekosustava

Europske vode su pod velikim ljudskim pritiskom. Kao odgovor na to, Europski Parlament i Vijeće su 2000. godine usvojili Okvirnu direktivu Europske Unije o vodama (Water Framework Directive- WFD). Cilj Direktive je zaštita svih europskih voda, sprečavanje uništavanja i onečišćenja europskih vodenih resursa te donošenje aktivnih mjera zaštite. Prema Direktivi, sve zemlje članice Europske Unije bi trebale postići dobar (pozitivan) okolišni status voda. Iako je ciljna godina postizanja pozitivnog stanja svih europskih voda je bila 2015., glavni ciljevi do tada nisu postignuti, pa novi projektni planovi nalažu da se poboljšanje stanja mora očitovati do 2022. godine (Giovanardi i sur., 2018).

Jedna od prepreka postizanja pozitivnog okolišnog statusa vode je problem definiranja glavnih bioindikatora pozitivnog, tj. negativnog stanja vode. Sastav fitoplanktonske zajednice otkriva mnogo o ekosustavu u kojem se nalazi. Karakteristični predstavnici određenih ekosustava i njihova abundancija mogu govoriti puno o tipu vode (morska, slatka ili bočata), kvaliteti (toksične vrste), produktivnosti, stupnju trofije (eutrofan, oligotrofan ili mezotrofan vodeni stupac) i slično. Zbog svoje važnosti kao primarnog proizvođača u morskoj hranidbenoj mreži, središnje uloge u procesima morskog ekosustava i brze reakcije na promjene hranjivih tereta i uvjeta okoline, fitoplankton je jedan od bitnih bioloških elemenata koji se razmatraju u Okvirnoj direktivi o vodama (WFD). Nekoliko regionalnih konvencija (OSPAR, HELCOM, Barcelona i Bukurešt) ističu važnost fitoplanktona u procjenama kvalitete obalnih voda (Giovanardi i sur., 2018).

U skladu s WFD, parametar fitoplanktona treba izraziti putem biomase fitoplanktona, sastava, obilja i učestalosti cvatnje. Ipak, u procjeni ekološkog stanja vodenih staništa, najčešće se kao jedini parametar fitoplanktona koristi biomasa, tj. koncentracija klorofila *a*. Iako klorofil *a* kao indikator ekološkog stanja ima mnogo prednosti (analiza je brza, jeftina i može se mnogo puta

ponoviti, a rezultati su lako usporedivi sa velikom bazom podataka (Domingues i sur., 2008)), veliki nedostatak je nestabilna korelacija između koncentracije klorofila *a* i biomase fitoplanktonskih vrsta (Kruskopf i Flynn, 2006).

Do ovog trena, bilo je nekoliko pokušaja razvijanja univerzalnog integriranog sustava procjene ekološkog stanja i kvalitete okoliša obalnih voda u Europi, ali se sustavi procjenjivanja i bioindikatori koji se koriste razlikuju od regije do regije: u baltičkoj regiji je koncentracija klorofila *a* jedini parametar fitoplanktona koji se koristi kao bioindikator stanja ekosustava (Fleming-Lehtinen i sur., 2015); u sjevernoistočnoj atlantskoj regiji, klorofil *a* i povećana razina smetnji ili toksičnih fitoplanktonskih indikatorskih vrsta su parametri korišteni u procjeni antropogene eutrofikacije (Foden i sur., 2011); u crnomorskoj regiji, svi parametri fitoplanktona su korišteni u procjeni ekološkog stanja rumunjskih i bugarskih obalnih voda (Moncheva i sur., 2011).

Definiranje bioindikatora kakvoće vode na Mediteranu, posebice u Jadranu je iznimno komplicirano jer sastav fitoplanktonske zajednice jadranskih obalnih voda jako sezonski i godišnje varira. Zbog visoke prostorne i vremenske varijabilnosti i kompleksnosti zajednica, teško je povući vezu sa sastavom nutrijenata u određenom obalnom morskom sustavu (Bredemeier i sur., 2007). Upravo se zato procjena stanja kvalitete okoliša gotovo tradicionalno oslanja na mjerenja koncentracije klorofila *a* kao jedinog parametra fitoplanktona. Nadalje, nije nađena poveznica između eutrofikacije i cvjetanja štetnih algi koja se javljaju s vremena na vrijeme u Jadranu (France i Mozetič, 2006; Ninčević-Gladan i sur., 2008) i ti događaji ne mogu biti povezani sa procjenom ekološkog stanja jadranskih obalnih voda.

Giovanardi i suradnici, 2018, su istražili koji su ekološki klasifikacijski kriteriji za ostvarivanje biološkog kvalitativnog elementa fitoplanktona u Jadranskom i Tirenskom moru. Kriterije su osnovali samo mjerenjem geometrijske srednje vrijednosti koncentracije klorofila *a*. Rezultati njihovog istraživanja upućuju da u Mediteranu koncentracija klorofila *a*, kao jedini parametar fitoplanktona, nije dovoljna za dobru procjenu ekološkog stanja zbog izražene prostorne i vremenske sezonalnosti. Istaknuto je da u slučaju Mediterana uz parametar klorofila *a* potrebno

koristiti još fitoplanktonskih parametara (na primjer, sastav i abundancija fitoplanktona) kako bi fitoplankton bio zadovoljavajući bioindikator ekološkog stanja morskih ekosustava u Europi.

Plitke obalne lagune istočnog Jadrana su rijetki i potpuno neistraženi ekosustavi. Dosadašnja istraživanja uvale Makirina i zaljeva Morinje su bila usredotočena na ispitivanje geokemijskih utjecaja raznih metala te geomorfologije lokaliteta (Komar i sur., 2013; Mihelčić i sur., 2006), dok se poveznica između sastava nutrijenata i sastava fitoplanktonskih zajednica ovih područja još nije istražila. S obzirom da su ovo vrlo plitka područja koja se nalaze u uskoj vezi sa okolnim kopnom, imaju potencijal sadržavati izrazito zanimljiv sadržaj vodenog stupca te veliku bioraznolikost. Nadalje, uska povezanost sa kopnom upućuje da bi sastav i abundancija fitoplanktona mogli prikazivati ekološko stanje ekosustava i stupanj trofije. Prilikom ovog istraživanja, sastav i abundancija fitoplanktona, te koncentracija klorofila *a*, su uzeti kao bioindikator razine trofije. Rezultati istraživanja su razmatrani u vidu problematike definiranja jasnih parametara fitoplanktona kao bioindikatora kvalitete vode i eutrofikacije.

1.4. Cilj istraživanja

Naše razumijevanje plitkih obalnih laguna je ograničeno. Ovakvi ekosustavi su uvelike neistraženi, dok je sastav fitoplanktonske zajednice potpuno nepoznat. Svrha ovog istraživanja je ustanoviti efikasnost sastava fitoplanktonske zajednice kao bioindikatora ekološkog stanja ekosustava te osvrnuti na važnost istraživanja plitkih, kompleksnih staništa koje obalne lagune predstavljaju.

Cilj ovog istraživanja je:

1. Utvrditi trenutno ekološko stanje dvaju priobalnih ekosustava
2. Usporediti fitoplanktonske zajednice
3. Procijeniti postojanje fitoplanktonskih indikatorskih vrsta trofije

2. Materijali i metode

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta „Priprema stručne podloge za zaštitu prirode za zahvate korištenja i eksploatacije peloida područja ekološke mreže NATURA 2000 na području uvale Makirina i zaljeva Morinje“ (Oikon d.o.o. – Institut za primijenjenu ekologiju, 2018) kojemu je cilj izraditi kartu staništa unutar ekološke mreže na oba lokaliteta te procijeniti stanje ekosustava. Ekološko stanje procjenjivalo se analizom sastava i abundancije fitoplaktona. Uzorkovanje obaju laguna planirano je tijekom proljetne i djelomično ljetne sezone, minimalno jednom u svakom mjesecu, od travnja do srpnja, kako bi se uočila razlika u sezonalnosti te sukcesija razvoja fitoplanktona. Uzorci morske vode su uzeti sa tri lokacije u svakoj laguni: jedna, kontrolna, lokacija izvan lagune, te dvije lokacije unutar laguna. Na svakoj od lokacija uzeta su tri uzorka morske vode: 1L za mjerenje klorofila a, 250 ml za analizu abundancije fitoplaktona i mrežni uzorak za kvalitativnu determinaciju.

2.1. Morinjski zaljev

Morinjski zaljev se nalazi između estuarija rijeke Krke i rta Ploča, pet kilometara jugoistočno od Šibenika, nasuprot južne strane otoka Krapnja. Hidrogeomorfološki se Morinjski zaljev dijeli na dva dijela – kanal Jadrtovac (koristi se i naziv kanal Morinje i kanal Sveti Križ), dužine 2500 i širine od 150 do 400 metara, te zaljev Morinje, dužine 1800 i širine od 500 do 1000 metara. Ukupna površina zaljeva je oko 3,5 milijuna četvornih metara. U hidrogeološkom smislu Morinjski je zaljev potpuno izdvojen iz podzemne i nadzemne drenažne mreže rijeke Krke, što je posljedica vodonepropusnih fliških barijera, tako da predstavlja zasebnu hidrogeološku cjelinu. Zaljev Morinje je pod velikim antropogenim utjecajem (Survey i Engineering, 2005), a njegova fizikalno kemijska i geokemijska svojstva ukazuju na moguću ljekovitost morinjskog peolida što traži dodatna istraživanja (Mihelčić i sur., 2012). Kao plitka obalna laguna, Morinjski zaljev predstavlja stanište od posebne važnosti (SCI- site of community importance), uvršteno u mrežu Natura 2000, pod Direktivom o staništima (<http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=HR3000460>).

2.2. Uvala Makirina

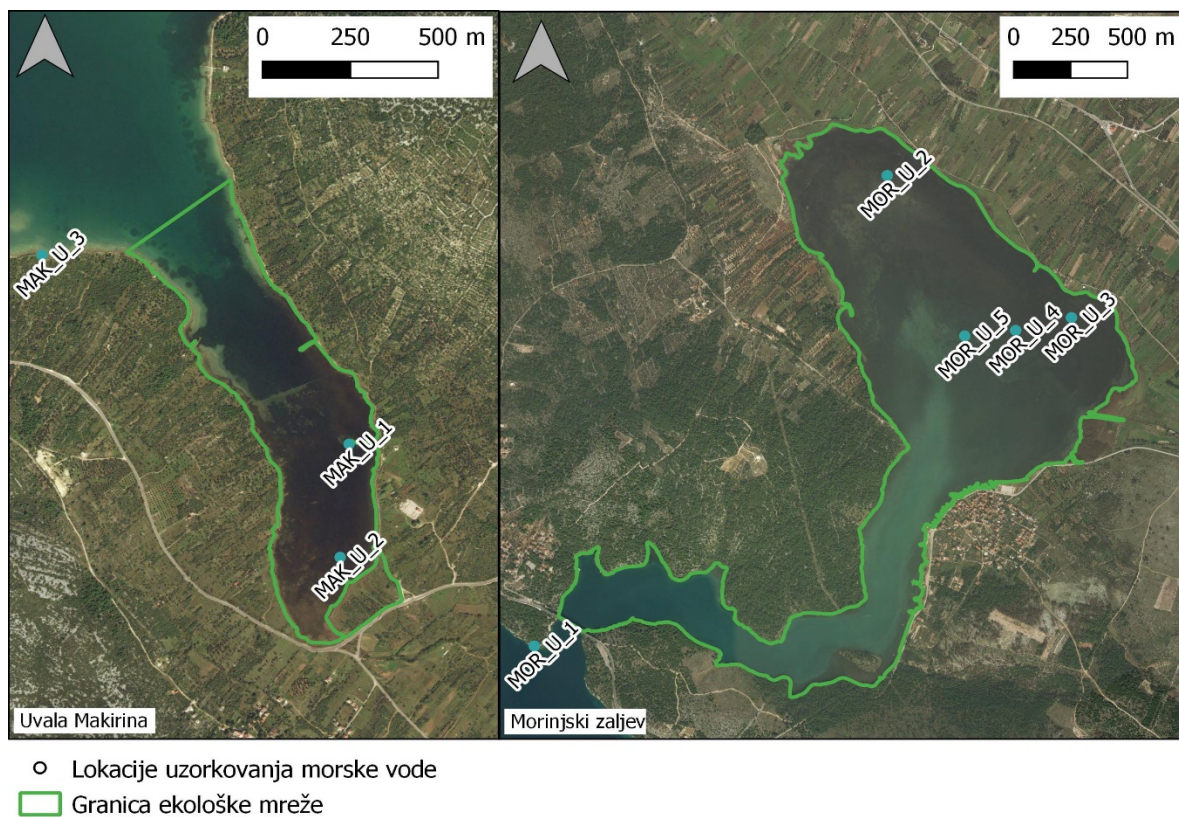
Uvala Makirina je smještena južno od općine Pirovac. Ukupna površina uvale 370 000 četvornih metara. Sama uvala je jako popularna među lokalnim stanovništvom zbog blata (peloidni mulj) koji čini podlogu uvale i čija su geokemijska svojstva pokazala pozitivne rezultate za eksploataciju u ljekovite svrhe (Komar i sur., 2013; Komar i sur., 2015).

Uvala ima sve elemente obalne lagune, izrazito je plitka sa euritermnim i eurihalinim biocenozama, te je uvrštena u mrežu Natura 2000 kao stanište od posebne važnosti (<http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=HR3000086>).

2.3. Opis postaja i vrijeme istraživanja

Istraživanje je provedeno u dvjema plitkim eutrofnim lagunama istočne obale srednjeg Jadranskog mora- zaljevu Morinje i uvali Makirina. Uzorkovalo se na dvjema postajama u unutarnjem dijelu (MOR 2, MOR3, MAK1 i MAK2) laguna, te vanjskom, kontrolnom (MOR 1 i MAK 3) dijelu laguna koji se otvara prema otvorenom moru. Pet terenskih istraživanja je

provedeno kroz proljetni i polovicu ljetnog dijela godine (08. travnja, 23. travnja, 08. svibnja, 07. lipnja i 12. srpnja). Uzorci od 1 L su uzeti za mjerenje abundancije klorofila a sa površine (0 metara dubine). Uzorci od 250 ml za analizu abundancije fitoplaktona i mrežni uzorak za dodatnu kvalitativnu determinaciju su također uzeti sa površine.



Slika 1 Karta uvale Makirina i Morinjskog zaljeva sa označenim postajama (oznaka CTD označava mjerenje CTD sondom na određenoj lokaciji)



Slika 2 Pogled na unutrašnji dio zaljeva Morinje i postaju MOR3



Slika 3 Uzorkovanje na vanjskoj postaji Morinjskog zaljeva (MOR 1)



Slika 4. Unutarnji dio uvale Makirina i postaja MAK 1

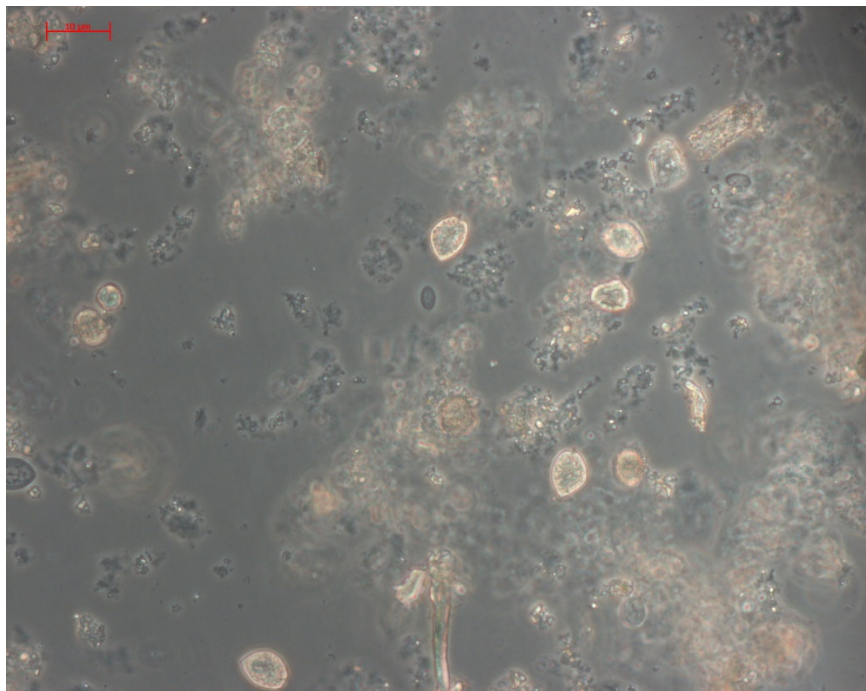


Slika 5. Vanjska postaja uvale Makirina- MAK 3

2.4. Abundancija fitoplanktona

Uzorci od 250 mL za analizu abundancije fitoplanktona su fiksirani u 2%-tnoj otopini neutraliziranog formaldehida. Poduzorci od 50 mL sedimentirani su 24 sata u komoricama za sedimentaciju. Abundancija stanica određena je se brojanjem stanica inverznim mikroskopom Zeiss Axiovert 200 metodom prema Utermöhl (1958). Stanice su se brojale po probnim poljima i transektima. Prvo su se brojale stanice veličine 220µm u pola transekta na povećanju od 400×. Brojne nanoplanktonske stanice brojale su se odabranim probnim poljima na povećanju od 400× (dinoflagelati nano frakcije, kriptofita, zeleni flagelati). Potom su pregledani transekti na povećanju 200× i pomoću faznog kontrasta gdje su brojane stanice mikropilanktona. Nakon toga su na povećanju 100× pregledavane obje polovice dna komorice i na taj su se način brojale velike stanice male abundancije. Vrste mikropilanktona koje su se pojavljivale u velikom broju, su izbrojane metodom nasumce odabranih probnih polja pod povećanjem 200× (npr. Penatae). Točnost brojanja ovom metodom iznosi $\pm 10\%$. Tako dobivene vrijednosti preračunate su u broj stanica po litri morske vode s različitim faktorima konverzije te analizirane u programima Excel i Primer-E.

Uzorci za kvalitativnu analizu fitoplanktona su profiltrirani kroz mrežu sa sitom promjera pora 20 µm. Profiltrirano je 5 L morske vode kako bi uzorak fitoplanktona bio što raznolikiji, te kako bi se odredile i vrste sa malom abundancijom. Iz svakog uzorka je uzet poduzorak koji je pregledan pod inverznim mikroskopom Zeiss Axiovert 200. Gdje god je bilo moguće, stanice su identificirane do razine vrste, iako je u puno slučajeva identifikacija bila moguća samo do razine roda ili obitelji. Uočene vrste su zapisane i naznačene u Tablici 1.



Slika 6. Mikroskopska slika primjerka uzorka

2.5. Klorofil *a*

Uzorci od 1 L morske vode uzeti su sa površine tamnim, neprozirnim bocama za kvantitativnu analizu klorofila *a*. Koncentracija klorofila *a* je određena fluorimetrijskom metodom (Yentsch i Menzel, 1963.; Holm-Hansen i sur., 1965.; Strickland i Parsons, 1972.)

Uzorci morske vode (do 500 mL) filtrirani su kroz staklene filtre promjera 47 mm i veličine pora 0,7 µm, uz podtlak do 20 kPa. Filter s ostatkom je ispran malom količinom Mili-Q vode, filtriran do suhoga, presavinut i zaštićen alu folijom, označen (vodno tijelo, postaja, datum i vrijeme uzorkovanja, dubina, volumen filtrirane vode) i pohranjen u zamrzivaču na -20°C do određivanja, a najduže do mjesec dana.

Postupak homogenizacije se izvodi tako da se filter sa stanicama fitoplanktonskih algi odmrzne i homogenizira pomoću homogenizatora u posebnoj epruveti za homogenizaciju u kojoj se nalazi oko 7 ml 90% acetona. Homogenizacija traje oko 1 min kod brzine 30 okr./min. Homogenat se prelije u kivetu za centrifugiranje, dolije acetonom do 10 ml ukupnog volumena te ostavi stajati u tami najmanje 2 sata. Nakon toga se centrifugira 10 min kod 5.000 okr/min. Takav uzorak je pripremljen za mjerenje u fluorimetru. Koncentracija klorofila *a* izračuna se prema jednadžbi (Strickland i Parsons, 1972.):

$$C(Chl\ a) = \frac{FD\left(\frac{T}{T-1}\right)(RB - RA)v}{V}$$

gdje je:

$C(Chl\ a)$ - koncentracija klorofila izražena u µg L⁻¹

FD - faktor vrata izražen u µg L⁻¹ i po jedinici fluorescencije,

T - odnos fluorescencije klorofila *a* prije i poslije zakiseljenja (RB/RA),

RB - fluorescencija uzorka prije zakiseljenja,

RA - fluorescencija uzorka poslije zakiseljenja,

v - volumen ekstrakta klorofila a u litrama,

V - volumen profiltriranog uzorka u litrama.



Slika 7. Laboratorijski fluorimetar

2.6. Statistička analiza

Osnovna statistička obrada podataka rađena je u MS Office Excel programu, dok je za multivarijantnu analizu korišten Primer 6.0 (Primer-E Ltd, 2002) program.

Multivarijantna analiza korištena za usporedbu sastava fitoplanktona između dvaju lokaliteta na osnovu razlike između vanjskih i unutarnjih postaja. Bray-Curtis indeks sličnosti je izračunat pomoću logaritamski $\log(x+1)$ transformiranih podataka. Hijerahijska klaster analiza (eng. hierarchical cluster analysis (HCA)) sa prosječno povezanim grupama i nemetričkim multidimenzionalnim skaliranjem (nMDS) je provedena radi usporedbe fitoplanktonskog sastava vanjske i unutarnje postaje uvala Makirina i zaljeva Morinje.

Grafički prikaz podataka je izrađen pomoću MS Office Excel programa i Primera 6.0 programa, a dodatno uređivanje mikroskopskih slika fitoplanktona je izvršeno pomoću Adobe Photoshop CC 2015 i Illustratora CC 2017.

3.

Rezultati

U zaljevu Morinje i uvala Makirina ukupno je zabilježeno 110 taksona fitoplanktona. Istraživanjem zaljeva Morinje i uvale Makirina, zabilježena je velika brojnost penatnih dijatomeja te nanoplanktonskih dinoflagelata. Zabilježeno je 78 vrsta dijatomeja i 28 vrsta dinoflagelata. Skupine redova Cryptophyceae i Chlorophyceae (zeleni flagelati) bilježe veliku brojnost. Od ostalih skupina, zabilježeni su redovi Prymnesiophyceae i Euglenophyceae. Cijeli popis vrsta sa oba istraživana lokaliteta su sadržani u Tablici 1.

Tablica 1. Popis vrsta i taksonomskih grupa determiniranih po Utermöhl-ovoj metodi i uočenih u mrežnim uzorcima (20 µm). Vrste označene zvjezdicom (*) su bile prisutne u mrežnim uzorcima.

Taksa	Fr (%)	MAX
Diatomeae		
<i>Achnanthes brevipes</i> C.Agardh*		
<i>Amphora ostreata</i> Brébisson*		
<i>Amphora</i> sp.	13	5680
<i>Amphiprora</i> sp.	3	40
<i>Amphisolenia bidentata</i> B.Schröder	7	760
<i>Alexandrium</i> sp.*	13	1140
<i>Alexandrium insuetum</i> Balech	3	380
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	3	3030
<i>Asteromphalus flabellatus</i> (Brébisson) Greville	3	380
<i>Auricula insecta</i> (Grunow) A.Schmidt	3	760
<i>Bacteriastrum</i> sp.*	3	380
<i>Cyclotella</i> sp.*	3	40
<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> Prasad	20	53960
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin*	77	7220
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	20	4548
<i>Chaetoceros anastomosans</i> Grunow	3	120
<i>Chaetoceros constrictus</i> Gran	3	11370
<i>Chateoceros contortus</i> Schütt	3	15200
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	3	3030
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve	7	1510
<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve	7	1140
<i>Chaetoceros simplex</i> Ostenfeld	7	1390
<i>Chaetoceros socialis</i> H.S.Lauder	3	1890
<i>Chaetoceros</i> spp.*		
<i>Chaetoceros</i> sp.*	33	11360

<i>Chaetoceros tenuissimus</i> Meunier	3	190
<i>Chaetoceros thronsdonii</i> (Marino, Montresor, & Zingone) Marino, Montresor & Zingone	13	1420
<i>Chaetoceros vixvisibilis</i> Schiller in Hustedt	3	25080
<i>Chaetoceros wighamii</i> Brightwell	3	4550
<i>Cocconeis</i> sp.*	30	11360
<i>Cyclotella</i> sp.	3	760
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle*	7	190
<i>Diploneis</i> sp.*	10	380
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	3	760
<i>Entomoneis</i> sp.*	17	2270
<i>Flagilariopsis</i> sp.	3	570
<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo*	37	5154
<i>Guinardia striata</i> (Castracane) Peragallo*	13	4940
<i>Grammatophora oceanica</i> Ehrenberg	7	380
<i>Haslea</i> sp.*	20	4920
<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville*	3	40
<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow ex Van Heurck	7	380
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve*	10	3400
<i>Licmophora</i> sp. *	60	120570
<i>Lioloma</i> sp.*		
<i>Lyrella lyra</i> (Ehrenberg) Karajeva*		
<i>Microtabella interrupta</i> (Ehrenberg) Round*	3	190
<i>Navicula</i> sp.*	30	1890
<i>Nitzschia incerta</i> (Grunow) M.Peragallo	3	80
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs*	47	4920
<i>Nitzschia delicatissima</i> Cleve	3	280
<i>Nitzschia sicula</i> (Castracane) Hustedt*		
<i>Nitzschia</i> sp.	13	380
<i>Orthonais</i> sp.*	13	7960
<i>Orthonais fimbriata</i> (Brightwell) Grunow	3	1510

<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve *		
<i>Pleurosigma angulatum</i> (J.T.Quekett) W.Smith *		
<i>Pleurosigma balticum</i> (Ehrenberg) W.Smith *		
<i>Pleurosigma formosum</i> W.Smith*	7	40
<i>Pleurosigma</i> sp.*	27	760
<i>Plagiotropis</i> sp.	10	570
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström*	20	1140
<i>Pseudo-nitzschia cuspidata</i> (Hasle) Hasle*		
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	47	3400
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> complex	3	380
<i>Rhabdosphaera tignifer</i> Schiller	7	1140
<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell	7	380
<i>Striatella unipunctata</i> (Lyngbye) C.Agardh	3	380
<i>Synedra crystallina</i> (C.Agardh) Kützing*	10	760
<i>Synedra fulgens</i> (Greville) W.Smith *		
<i>Synedra toxoneides</i> Castracane*		
<i>Synedropsis hyperborea</i> (Grunow) G.R.Hasle, Medlin & E.E.Syvertsen	3	190
<i>Tabelaria</i> sp.	3	40
<i>Thalassionema</i> sp.	7	25460
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky*	13	10990
<i>Thalassiosira</i> sp.*	3	760
<i>Trichotoxon</i> sp.	3	380
<i>Thorosphaera elegans</i> Ostenfeld*		
Penata 170-200 µm*	73	85040
Ostale penatne dijatomeje µm*	13	3400
Ostale penatne dijatomeje nm*	7	4260
Dinoflagellata		
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède et Lachmann*	13	380
<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin*		
<i>Dinobryon divergens</i> O.E.Imhof	3	320
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann *		

<i>Dinophysis</i> sp.	7	380
<i>Gonyaulax fragilis</i> (Schütt) Kofoid	10	380
<i>Gonyaulax grindleyi</i> Reinecke	3	380
<i>Gonyaulax</i> sp.	7	307240
<i>Gymnodinium</i> spp.*	27	14190
<i>Gymnodinium sanguineum</i> K.Hirasaka*	3	120
<i>Gyrodinium fusiforme</i> Kofoid & Swezy	7	380
<i>Gyrodinium</i> spp.*	10	380
<i>Heterodinium milneri</i> (Murray & Whitting) Kofoid*	7	380
<i>Oxytoxum</i> sp.	3	40
<i>Oxytoxum adriaticum</i> Schiller*	0	0
<i>Prorocentrum triestinum</i> J.Schiller *	23	1420
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg*	73	7960
<i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) J.Schiller*	60	14440
<i>Prorocentrum scutellum</i> B.Schröder*	33	7090
<i>Prorocentrum</i> sp.	7	380
<i>Prorocentrum vaginulum</i> (Ehrenberg) Dodge	17	780
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen) Balech*		
<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg) Balech	3	40
<i>Protoperidinium leonis</i> (Pavillard) Balech*	7	380
<i>Protoperidinium</i> sp.*	17	18450
<i>Protoperidinium steinii</i> (Jørgensen) Balech*	7	380
<i>Protoperidinium oceanicum</i> (Vanhöffen) Balech *		
<i>Scrippsiella</i> sp.*	13	3790
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (F.Stein) A.R.Loeblich III*		
Nedeterminirani dinoflagelati (<20 µm)*	93	1366460
Prymnesiophyceae		
Nedeterminirani kokolitoforidi (>10µm)	13	64300
Euglenophyceae		
<i>Eutreptia lanowii</i> Steuer *		
Cryptophyceae *		
	93	506400

1. Dominantne skupine i vrste u zaljevu Morinje

Fitoplanktonski sastav u zaljevu Morinje sastojao se od penatnih dijatomeja (maksimalna abundancija $6,8 \times 10^4$ stanica L^{-1}) te dinoflagelata nano frakcije (maksimalna abundancija $5,1 \times 10^4$ stanica L^{-1}). Dominantne vrste su bile dijatomeje *Chaetoceros* sp., *Cylindrotheca closterium* te *Licmophora* sp. Dominantne vrste dinoflagelata su bile *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum minimum* i *Prorocentrum scutellum* (Tablica 2).

Tablica 2. Popis dominantnih vrsta zabilježenih u zaljevu Morinje.

Taxa	Fr (%)	MAX
Dijatomeje		
<i>Chaetoceros</i> spp.	20	6820
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin*	33	1510
<i>Licmophora</i> spp.	33	1890
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	20	2838
Nedeterminirane penatne dijatomeje	37	68580
Dinoflagelati		
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	40	2280
<i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) J.Schiller	27	4260
<i>Prorocentrum scutellum</i> Schröder	23	7090
Nedeterminirani dinoflagelati (<20 μm)	50	510250

Ukupan nanofitoplankton (maksimalna abundancija 5×10^5 stanica L^{-1}) svih uzoraka vanjske i unutarnjih postaja u zaljevu Morinje je abundantniji od mikrofitoplanktona (Tablica 3).

Tablica 3. Maksimalna (MAX) i minimalna (MIN) vrijednost, srednjak (AVG) te standardna devijacija (ST.DEV) abundancije mikrofitoplanktona i nanofitoplanktona u zaljevu Morinje, N – broj uzoraka.

	MIN	MAX	AVG	ST.DEV	N
Ukupan mikrofitoplankton (stanica L^{-1})	2280	322034	47534	80247	30
Ukupan nanofitoplankton (stanica L^{-1})	7100	532945	130969	149049	30

3.2. Dominantne skupine i vrste u uvali Makirina

Fitoplanktonom u uvali Makirina dominirali su nanoplanktonski dinoflagelati (maksimalna abundancija $1,3 \times 10^5$ stanica L^{-1}). Dominantne vrste mikrofitoplanktonskih dinoflagelata su bile *Prorocentrum micans* i *Prorocentrum minimum*, dok su *Licmophora* spp. (maksimalna abundancija $1,2 \times 10^5$ stanica L^{-1}), *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia longissima* i *Pseudo-nitzschia* spp. bile dominantne dijatomeje u uvali Makirina tijekom istraživnog razdoblja (Tablica 4).

Tablica 4. Popis dominantnih vrsta zabilježenih u uvali Makirina.

<i>Taxa</i>	Fr (%)	MAX
Dijatomeje		
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin	43	7220
<i>Licmophora</i> sp.	27	120570
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson in Kützing) Ralfs	33	4920
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	27	3400
Nedeterminirane penatne dijatomeje	37	85040
Dinoflagelati		
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	33	7960
<i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) J.Schiller	33	14440
		136646
Nedeterminirani dinoflagelati ($<20 \mu m$)	43	0

Nanofitoplankton (maksimalna abundancija 1.3×10^6 stanica L^{-1}) je pokazao dominaciju u ekosustavu uvala Makirina u odnosu na abundanciju mikrofitoplanktona (Tablica 5).

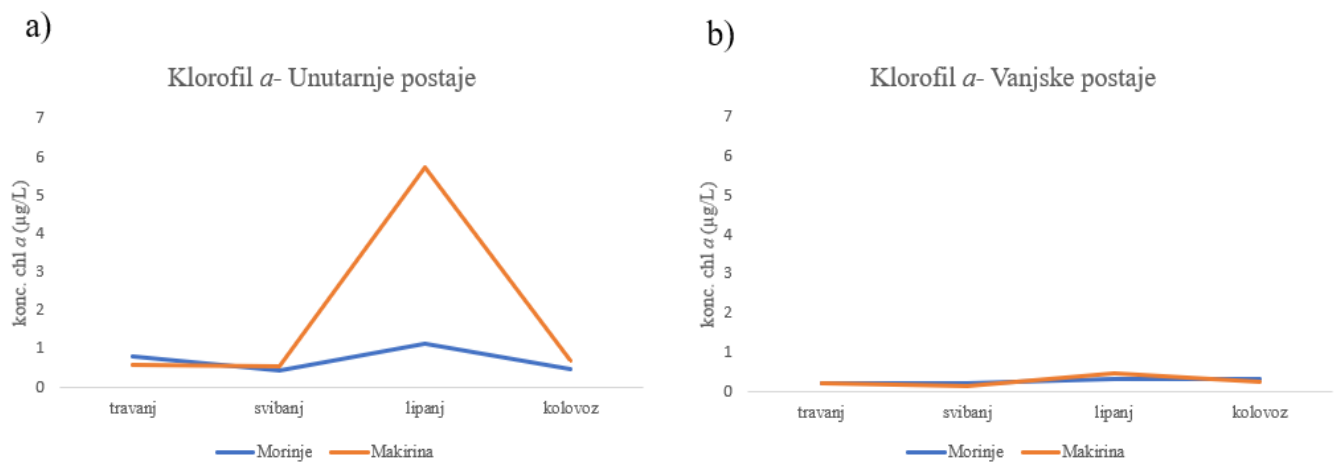
Tablica 5. Maksimalna (MAX) i minimalna (MIN) vrijednost, srednjak (AVG) te standardna devijacija (ST.DEV) abundancije mikrofitoplanktona i nanofitoplanktona u uvali Makirina, N – broj uzoraka

	MIN	MAX	AVG	ST.DEV	N
Ukupan mikrofitoplankton (stanica L^{-1})	4220	193190	54970	53917	30
Ukupan nanofitoplankton (stanica L^{-1})	9940	1377812	296186	367339	30

3.3. Koncentracija klorofila *a*

Koncentracija klorofila *a* u vanjskim lokacijama laguna ne pokazuje velike promjene kroz proljetnu i ljetnu sezonu. Vrijednosti koncentracije klorofila *a* ne prelaze 0.5 $\mu\text{g/L}$ tijekom cijelog razdoblja.

U unutarnjoj lokaciji zaljeva Morinje vrijednosti klorofila *a* se kreću između 0.5 i 1.15 $\mu\text{g/L}$ i ne pokazuju ikakve značajne skokove kroz proljetno i ljetno razdoblje. U unutarnjoj postaji uvala Makirina vrijednosti klorofila *a* pokazuju skokovitu promjenu koncentracije u lipnju sa maksimumom od 5.7 $\mu\text{g/L}$ koja potom opet naglo u kolovozu pada na vrijednosti niže od 1 $\mu\text{g/L}$ (Slika 8).



Slika 8. Koncentracija klorofila *a* u unutarnjim (a) i vanjskim (b) postajama u zaljevu Morinje i uvali Makirina

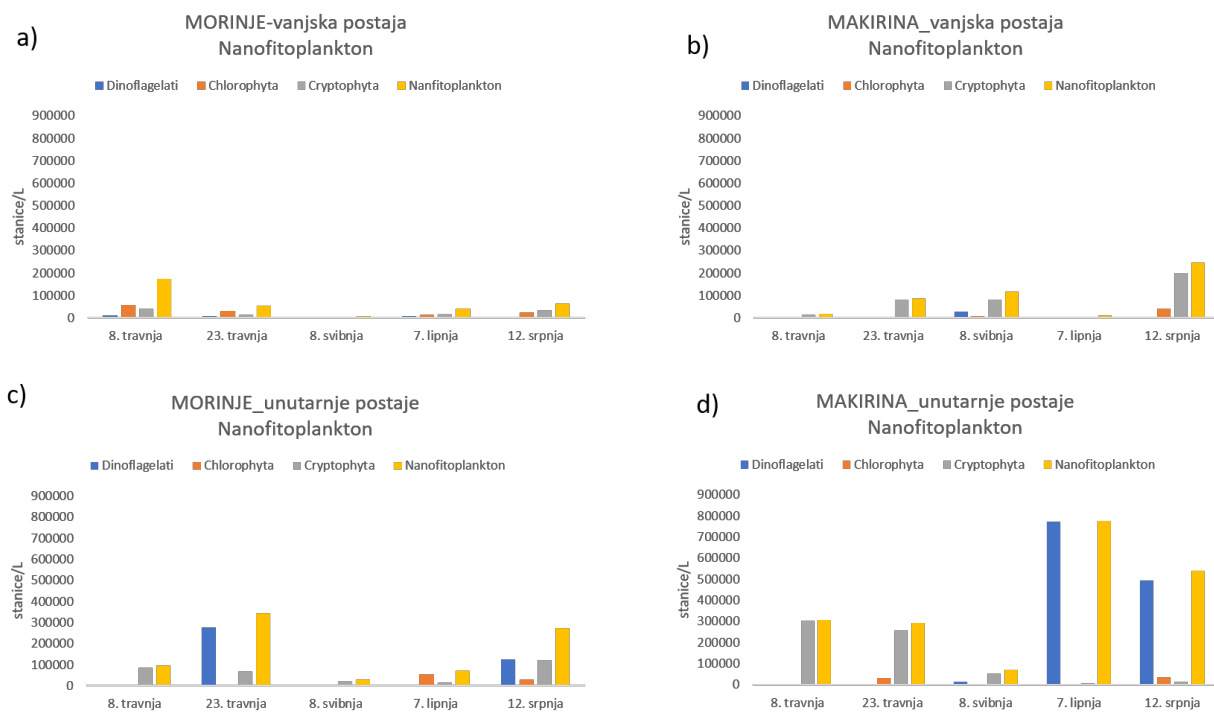
3.4. Sastav nanofitoplanktona

Slika 9 grafički prikazuje udio nanofitoplanktona i određenih fitoplanktonskih grupa nano frakcije u vanjskoj i unutarnjim postajama dvaju laguna. Abundancija nanofitoplanktona u unutrašnjim postajama laguna je uzeta kao prosjek između dvije unutarnje postaje.

U vanjskoj postaji zaljeva Morinje nanofitoplankton je brojniji (maksimum abundancije 2×10^5 stanica L^{-1}) na početku proljetne sezone te se tijekom proljeća i ljeta smanjuje. Skupina Chlorophyta obuhvaća većinu nanofitoplanktonske frakcije. U vanjskoj postaji uvale Makirina, brojnost nanofitoplanktona se povećava kroz proljetnu sezonu te pokazuje najveću brojnost u ljetnom periodu (maksimalna abundancija otprilike 3×10^5 stanica L^{-1}).

Vanjske lokacije obaju laguna pokazuju mnogo manju brojnost nanofitoplanktona u odnosu na unutarnje postaje koje su bogatije nanofitoplanktonom (Slika 9).

U unutrašnjosti zaljeva Morinje i uvale Makirina dinoflagelati čine većinu nanofitoplanktonske zajednice. U usporedbi sa Morinjem, uvala Makirina ima brojniju abundanciju nanofitoplanktona (maksimalna abundancija otprilike 8×10^5 stanica L^{-1}). U obje uvale se brojnost nanofitoplanktona povećava kroz proljetnu i ljetnu sezonu, pri čemu se ta promjena više primjećuje u uvali Makirina.



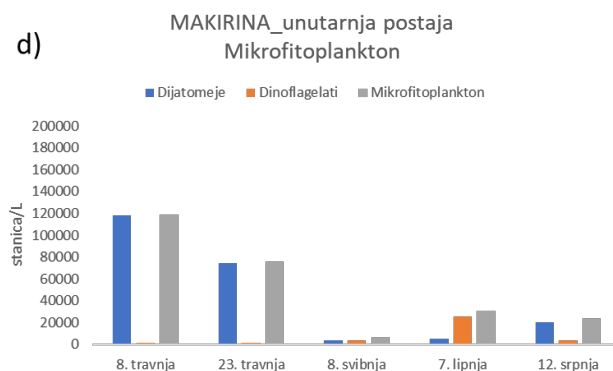
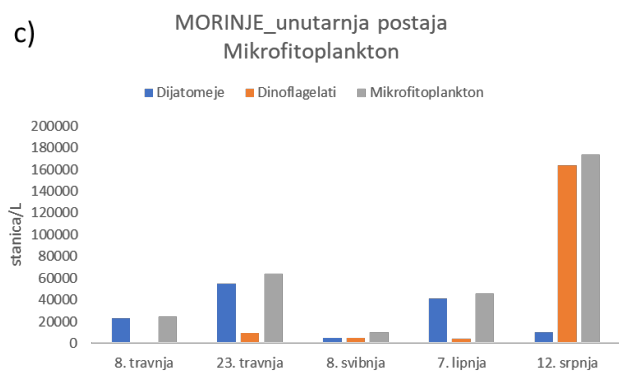
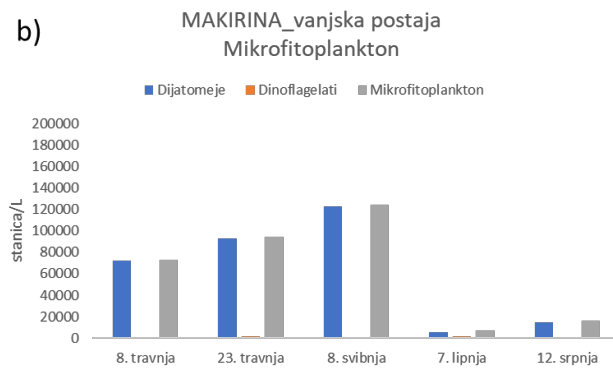
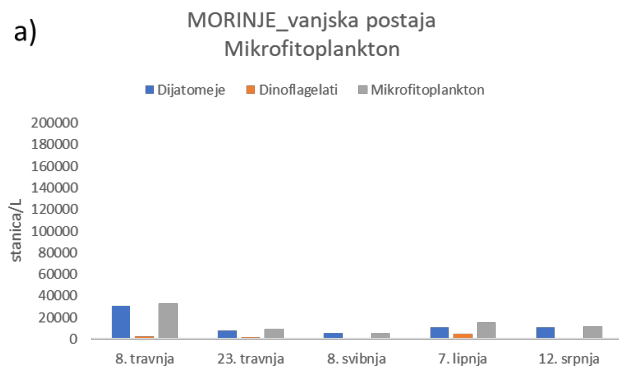
Slika 9. Udio dominantnih skupina nanofitoplanktona (dinoflagelati, klorofiti i kriptofiti) te ukupnog nanofitoplanktona u vanjskim (a i b) i unutarnjim postajama (c i d) zaljeva Morinje i uvale Makirina po vremenskom slijedu uzorkovanja.

3.5. Sastav mikrofitoplanktona

Slika 10 grafički prikazuje udio mikrofitoplanktona i određenih fitoplanktonskih grupa mikro frakcije u vanjskoj i unutarnjim postajama dvaju laguna. Abundancija mikrofitoplanktona u unutrašnjim postajama laguna je uzeta kao prosjek između dvije unutarnje postaje.

U vanjskoj postaji zaljeva Morinje nanofitoplankton je brojniji (maksimum abundancije 3×10^4 stanica L^{-1}) na početku proljetne sezone te se tijekom proljeća i ljeta smanjuje. Skupina dijatomeja obuhvaća većinu mikrofitoplanktonske frakcije. Za razliku od zaljeva Morinje, uvala Makirina ima puno veću brojnost mikrofitoplanktona sa maksimumom abundancije u svibnju (13×10^4 stanica L^{-1}), ali nakon toga brojnost naglo opada. Najveći udio mikrofitoplanktonske zajednice u vanjskoj postaji uvale Makirina čine dijatomeje.

U unutarnjim postajama zaljeva Morinje, dijatomeje su najbrojniji pripradnici mikrofitoplanktona kroz proljeće, dok se promjena događa u srpnju gdje dinoflagelati pokazuju dominaciju unutar mikrofitoplanktona (maksimum abundancije 1.7×10^5 stanica L^{-1}). U uvali Makirina dijatomeje se su brojnije na početku proljeća, ali im, kao i ukupnom mikrofitoplanktonu, brojnost opada prema ljetnom periodu.

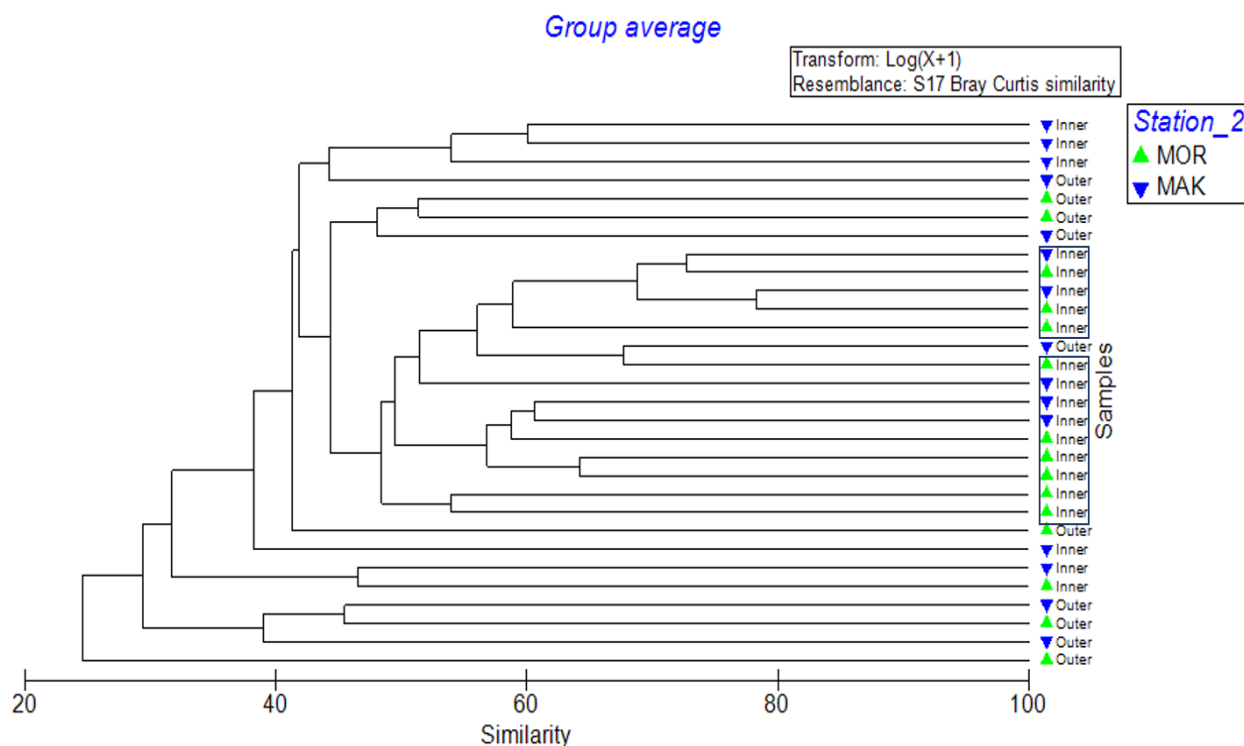


Slika 10. Prikaz udjela dominantnih skupina mikrofitoplanktona (dijatomeje i dinoflagelati) te ukupnog mikrofitoplanktona u vanjskim (a i b) i unutarnjim postajama (c i d) zaljeva Morinje i uvale Makirina po vremenskom slijedu uzorkovanja.

3.6. Odnos sastava fitoplanktona

Razlika fitoplanktonskog sastava vanjske i unutarnjih postaja uvale Makirina i zaljeva Morinje, temeljena na fitoplanktonskom biodiverzitetu i abundanciji, prikazana je multivarijantnom statističkom analizom (Hierarchical cluster analysis, HCA) (Slika 11) te nemetričkim multidimenzionalnim skaliranjem (Non-metric Multi-Dimensional Scaling, MDS) (Slika 12).

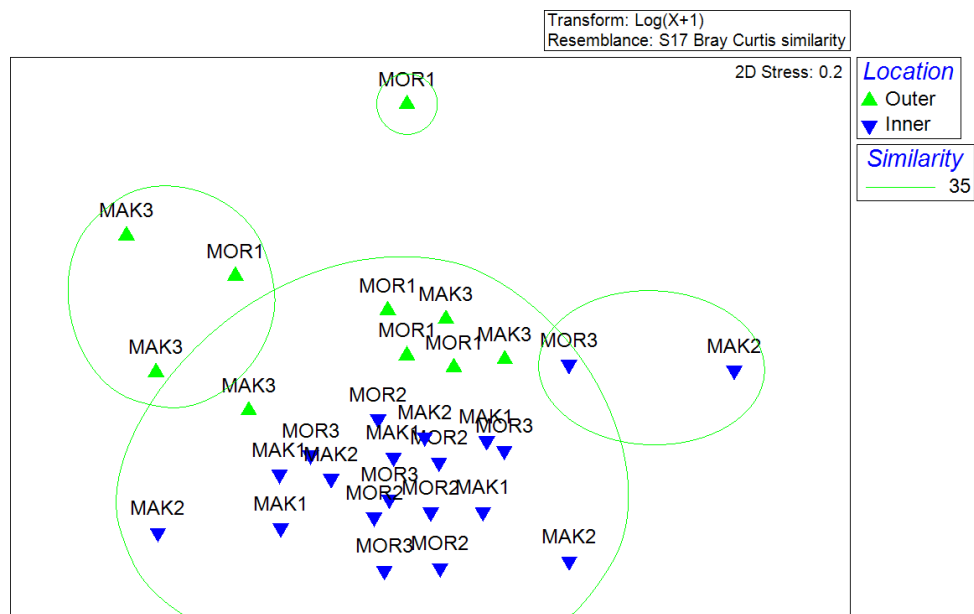
U klaster analizi se unutarnje postaje grupiraju u zajednički klaster po postotku sličnosti. Izdvojene su grupe (uokvirene postaje) unutarnjih postaja zaljeva Morinje (naznačena zelenim trokutom) i unutarnjih postaja uvale Makirina (naznačena plavim trokutom) koje pokazuju veliku sličnost (Slika 11).



Slika 11. Multivarijantna statistička analiza- hijerarhijska klaster analiza (eng. hierarchical cluster analysis- HCA) fitoplanktonskog sastava uvale Makirina i zaljeva Morinje

Multidimenzionalno skaliranje (MDS) izdvaja tri skupine koje su grupirane na vanjske i unutarnje postaje. Dvije manje skupine grupiraju samo unutarnje i samo vanjske postaje obaju

lokacija. Jedna velika skupina obuhvaća većinski unutarnje postaje, te je jedna vanjska postaja (MOR1) izdvojena i negrupirana (Slika 12).



Slika 12. Ne-metričko multidimenzionalno skaliranje (MDS- Non-metric Multi-Dimensional Scaling) uvale Makirina i zaljeva Morinje

SIMPER analiza je korištena za usporedbu sličnosti taksona između vanjskih i unutarnjih postaja. Skupina koja pokazuje najveći postotak udjela vrsta u vanjskim i unutarnjim postajama je Cryptophyceae (u vanjskim postajama 22.68%, u unutarnjim 18.86%), nakon kojih slijede nedeterminirani dinoflagelati (u vanjskim 15.59%, u unutarnjim 18.24%) (Tablica 6). Dijatomeje roda *Chaetoceros* sp. imaju visoki postotak udjela (12.74) u vanjskim postajama. U unutarnjim postajama visoki postotak udjela pokazuju dinoflagelati vrste *Prorocentrum micans* (Tablica 6).

Tablica 6. Analiza postotka sličnosti (SIMPER) za svaki takson/grupu po vanjskim i unutarnjim postajama. Taksoni sa postotkom sličnosti <2 su isključeni iz tablice. Taksoni/grupe sa udjelom doprinosa većim od 1 su obilježeni podebljanim slovima. Oznake: prosječan udio/standardna devijacija (δ/σ), postotak udjela vrsta ($\Sigma\delta\%$).

Taxa (Vanjske postaje)	δ/σ	$\Sigma\delta\%$
Cryptophyceae	4.57	22.68
Nedeterminirani dinoflagelati (<20 μm)	1.74	15.59
Zeleni flagelati	0.86	9
Penata 170-200 μm	0.63	4.8
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewin	0.84	6.01
Chaetoceros sp.	1.74	12.73
<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo	0.84	4.54
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	0.62	4.35
<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> Prasad	0.59	4.01
Taxa (Unutarnje postaje)	δ/σ	$\Sigma\delta\%$
Cryptophyceae	1.88	18.86
Nedeterminirani dinoflagelati (<20 μm)	2.52	18.24
Penata 170-200 μm	1.16	10.84
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	1.26	9.4
Zeleni flagelati	0.79	7.3
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewin	1.24	7.67
<i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) J.Schiller	0.92	6.86
<i>Licmophora</i> sp.	0.81	4.71

<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs	0.67	4.44
<i>Prorocentrum scutellum</i> B.Schröder	0.48	2.81

4.

Rasprava

4.1. Klorofil *a*

Koncentracija klorofila *a* se standardno koristi kao indikator fitoplanktonske biomase i produktivnosti. Rezultati mjerenja koncentracije klorofila *a* u vanjskim lokacijama obaju laguna nisu pokazale velike promjene kroz proljetnu i ljetnu sezonu, te koncentracija nije prelazila $0.5 \mu\text{g L}^{-1}$ tijekom cijelog razdoblja istraživanja. U unutarnjim postajama obaju laguna je došlo do povećanja u koncentraciji klorofila *a* tijekom lipnja. Posebice je zanimljiva uvala Makirina čije vrijednosti klorofila *a* pokazuju skokovitu promjenu koncentracije u lipnju sa maksimumom od $5.7 \mu\text{g L}^{-1}$.

Ovakvi rezultati su u skladu sa prijašnjim mjerenjima koncentracije klorofila *a* na području istočnog Jadrana. Na primjer, opseg koncentracije klorofila *a* u Šibenskom zaljevu se rasteže od 0.07 do $4.73 \mu\text{g L}^{-1}$ (Bužančić i sur., 2016).

Ipak, iako su vrijednosti klorofila *a* u unutrašnjosti obaju laguna nešto više nego u vanjskim postajama, ne možemo govoriti o fitoplanktonskom cvjetanju. Cvjetanje fitoplanktona se u Jadranu javlja u proljeće i jesen (Viličić i sur., 1989), dok porast koncentracije klorofila *a* tijekom ljeta nije karakterističan za Jadran, stoga su visoke koncentracije klorofila *a* vjerojatno utjecane priljevom kopnenih voda te visokim antropogenim utjecajem (Ninčević Gladan i sur., 2010). Unatoč tome, sama koncentracije klorofila *a* u ovom slučaju nije dovoljno dobar indikator ekološkog stanja dvaju laguna. Puno više informacija o eutrofikaciji ekosustava i ekološkom stanju je dobiveno pregledom abundancije i sastava fitoplanktona.

4.2. Nanofitoplankton

Izmjeren broj stanica u unutrašnjosti zaljeva Morinje i uvale Makirine jer 10^5 do 10^6 stanica L^{-1} , što je u skladu sa dosadašnjim mjerenjima nanofitoplanktona na području estuarija rijeke Krke i Šibenskog zaljeva (Cetinić i sur., 2006). U obe uvale se brojnost nanofitoplanktona postepeno povećava kroz proljeće i ljeto. U slučaju estuarija rijeke Krke, mjerenja su također pokazala postepeni porast abundancije nanofitoplanktona u proljetnom (i jesenskom) razdoblju u gornjim dijelovima estuarija gdje je kopneni utjecaj veći (Cetinić et al., 2006). Dinoflagelati, skupina koja posebice dominira nanofitoplanktonom u uvali Makirina, su u prijašnjim istraživanjima

estuarija rijeke Zrmanje pronađeni na postajama sa najjačim antropogenim utjecajem (Burić i sur., 2007). Prijašnja istraživanja drugih priobalnih ekosustava istočnog Jadrana su pokazala da su dinoflagelati najabundantniji na lokacijama gdje je najveći antropogeni pritisak, te se njihova abundancija povećava u toplijim i vrućim mjesecima (proljeće i ljeto) (Ninčević Gladan i sur., 2010; Smayda, 2000). Prilikom istraživanja francuskih obalnih laguna uočeno je da je prevladavanje nanofitoplanktona povezano sa priljevima slatke vode sa kopna te prinosom veće količine nutrijenata koji utječe na sastav fitoplanktona- javljaju se nanofitoplanktonske vrste dinoflagelata i dijatomeja kojima pogoduju eutrofniji uvjeti okoliša (Bec i sur., 2011). Stoga se da uočiti poveznica dosadašnjih istraživanja sa rezultatima ovog istraživanja koja upućuju da su uvala Makirina i zaljev Morinje pod velikim utjecajem nutrijenata sa kopna i eutrofikacije.

4.3. Mikrofitoplakton

Red veličine maksimalne abundancije mikrofitoplanktona u obje laguna je 10^4 . Mikrofitoplankton u unutrašnjosti laguna je abundantniji na početku mjerenja, u rano proljeće, te početkom ljeta počinje opadati. Dijatomeje dominiraju mikrofitoplanktonom obaju laguna u vanjskim i unutarnjim postajama, sa iznimkom unutarnje postaje Morinja u srpnju kada abundancija mikrofitoplanktonskih dinoflagelata naglo raste. U prijašnjim istraživanjima, dijatomeje su bile abundantnije u hladnijim dijelovima godine te su pred početak ljeta bile zamjenjene manjim dinoflagelatnim stanicama (Burić i sur., 2007). To je u skladu sa mjerenjima nanofitoplanktona koji pokazuje postepeno povećanje brojnosti dinoflagelata tijekom vremena provođenja ovog istraživanja (travanj-kolovoz). Bužančić i suradnici, 2016, su uočili veliku abundanciju mikroflagelata u razdoblju proljeće-ljeto u trima priobalnim zaljevima istočnog Jadrana- Šibenskom, Kaštelanskom i Malostonskom zaljevu, koji pokazuju karakteristike jakog antropogenog utjecaja i eutrofikacije. Dijatomeje, kao i dinoflagelati su skupina koja se javlja u eutrofnim ekosustavima, posebice neke određene vrste koje mogu biti indikatori eutrofikacije (raspravljeno u poglavlju Indikatorske vrste) (Bužančić i sur., 2016; Cetinić i sur., 2006).

4.4. Indikatorske vrste

Neke vrste koje su uočene tijekom ovog istraživanja na prvo pogled upućuju na nepovoljno ekološko stanje uvale i zaljeva. Riječ je o vrstama i rodovima koji su karakteristični za eutrofne ekosustave ili se javljaju u područjima pogođenim jakim antropogenim utjecajem ili imaju toksična svojstva.

Rezultati ovog istraživanja su pokazali visoku abundanciju dijatomeja i dinoflagelata koje nalazimo u ekosustavima sa povećanom koncentracijom nutrijenata. Na primjer, uočeno je nekoliko vrsta roda *Chaetoceros* koje su često nađene u vrlo eutrofnim i zagađenim ekosustavima (Gotsis-Skretas i sur., 2016). Česta vrsta u ovom istraživanju je bila i *Cylindrothoe closterium* koja ima važnu ulogu u stvaranju mucilažina u sjevernom Jadranu (Najdek i sur., 2005). Vrste roda *Pseudo-nitzschia*, čija su cvjetanja istraživana u srednjem i južnom Jadranu, imaju potencijalno toksičan utjecaj na okoliš (Bosak i sur., 2012; Burić i sur., 2008; Caroppo i sur., 2005). Nadalje, prisustvo brojnih neidentificiranih mikrofitoplanktonskih penatnih dijatomeja, koje su bile dominantne u obe lagune tijekom ovog istraživanja, je povezano sa antropogenom eutrofikacijom (Bell i sur., 1995) i istraživane su u Jadranu (Bosak i sur., 2017).

Dominantne vrste dinoflagelata koje su uočene u ovom istraživanju su *Prorocentrum micans*, *P. minimum* i *P. scutellum*. Sama vrsta *Prorocentrum minimum* je potencijalno toksična i stvara opasna cvjetanja u estuarijskim i obalnim područjima (Heil i sur., 2005; Carstensen i sur., 2007). Cvjetanja su zabilježena i u Jadranu 80-ih godine prošlog stoljeća u Šibenskom zaljevu, u čijoj se okolini i nalazi Makirina i Morinje (Marasović i sur., 1990). Tijekom ovog istraživanja, uočene su i vrste roda *Gymnodinium* koje pokazuju štetan utjecaj na sastav fitoplanktona i ekosustav su (Pereira i sur., 2012). U oba ekosustava je pronađena vrsta roda *Alexandrium*. Vrsta *Alexandrium* je dokazano toksična vrsta (Anderson, 1998) te njeno prisustvo upućuje na izrazito nepovoljno stanje ekosustava.

Uzimajući u obzir karakteristike određenih vrsta iz prethodnih istraživanja, već bi prvom pogledom kroz mikroskop mogli ustvrditi o kakvom se ekosustavu radi. Spomenute svojste, kao i mnoge druge koje su pronađene tijekom ovog istraživanja, ukazuju na eutrofikaciju u oba

priobalna ekosustava već samim svojim prisustvom. Stoga bi se dalo zaključiti da je poznavanje sastava i abundancije fitoplanktona nekog ekosustava dobar potencijalni bioindikator procjene ekološkog stanja. Viličić, 1989, ukazuje na važnost poznavanja i prepoznavanja vrsta fitoplanktona u svrhu procjene kvalitete ekosustava postavljajući kriterije za kategorizaciju ekosustava i biološku procjenu eutrofikacije.

4.5. Usporedba ekosustava uvale Makirina i zaljeva Morinje i ekološko stanje

Uvala Makirina i Morinjski zaljev su plitke obalne lagune istočne obale srednjeg Jadrana. Klasificirane su u istu skupinu zbog iste geomorfologije staništa, ali sastav fitoplanktonske zajednice nije dosad istražen. Ovo istraživanje je pokazalo da nema značajne razlike u sastavu fitoplanktona između dvije lagune. U oba ekosustava dominiraju slične ili iste skupine i vrste stanica- najraznovrsnije funkcionalne grupe su bile dijatomeje i dinoflagelati.

Morinje i Makirina su kompleksna plitka staništa gdje je srednja vrijednost dubine vodenog stupca svega nekoliko centimetara. Zbog toga su ovakva staništa jako ugrožena i pod stalnim okolišnim pritiscima koju još više naglašava njihova usječenost u kopno. Za vrijeme vrućeg dijela godine, ova su područja pod prijetnjom isušivanja, a zbog uske povezanosti s kopnom, na ovim područjima dolazi do prodiranja izvorskih voda koji prinose nove nutrijente. Javlja se prirodna eutrofikacija, iako se vizualnim pregledom obaju ekosustava može vidjeti i znatan antropogeni utjecaj (odlagališta smeća u neposrednoj blizini vode).

Svi navedeni procesi utječu na sastav fitoplanktonskih zajednica Makirine i Morinja. S obzirom na specifičnost i rijetkost staništa u Europi, ove dvije uvale prikazuju posebnu bioraznolikost fitoplanktonskih i perifitonskih vrsta te predstavljaju svojevrсно žarište bioraznolikosti koje je nedovoljno istraženo. Istraživanjem fitoplanktona Makirine i Morinja, i sličnih plitkih obalnih staništa, dobivamo priliku dobiti uvid u specifično stanište obalnog mora koje je u uskoj vezi sa podlogom i kopnom. Informacije koje dobivamo istraživanjem skupina i vrsta fitoplanktona, jako nam puno mogu reći o tipu staništa, kvaliteti vode, stupnju trofije, ali i okolnim procesima na kopnu koju se zbivaju.

Mikroskopski pregled sastava fitoplanktona u Morinju i Makirini prikazuje karakteristično stanje za plitko, gotovo bentosko stanište podložno utjecajima sa kopna- plitkim stupcem vode su dominirale skupine dijatomeja i dinoflagelata. U gotovo svakom uzorku je bilo puno sedimenta, praznih dijatomskih ljušturica i detritusa. Slike su prikazivale miksotrofno stanje ekosustava sa puno bentoskih vrsta kao što su *Cocconeis* sp., *Nitzschia* sp. i druge neidentificirane penatne bentoske dijatomeje. Puno detritusa i praznih ljuštirica stanica u unutarnjim postajama obaju lokaliteta daje naslutiti da se područja djelomično isušuju u određenom dijelu godine te da su ekosustavi pod jakim antropogenim utjecajem (Komar i sur., 2013; Survey i Engineering, 2005). Povećanje koncentracije klorofila *a* tijekom lipnja govori o pojačanoj primarnoj produkciji i većoj biomasi fitoplanktona, dok prisustvo indikatorskih vrsta zagađenja (*Prorocentrum minimum*) te toksičnih vrsta (*Alexandrium* sp.) upućuju da su uvala Makirina i zaljev Morinje pod velikim antropogenim pritiskom i u nepovoljnom ekološkom stanju.

Dominacija dijatomeja i dinoflagelata upućuje na visoko trofičko opterećenje ekosustava. Naime, u prijašnjim istraživanjima većih morskih zaljeva istočne obale Jadranskog mora- Šibenskog, Kaštelanskog i Malostonskog zaljeva, koji su pod izrazitim antropogenim utjecajem, dijatomeje i dinoflagelati su dominirali fitoplanktonskom zajednicom (Bužančić i sur., 2016). Svensen i sur., 2007 su dokazali da dijatomeje pozitivno koreliraju sa nitratima i silikatima, dok dinoflagelati koreliraju sa fosfatima. Prema ovakvim rezultatima, da se zaključiti da su pronađene skupine dinoflagelata i dijatomeja u uvali Makirina i zaljevu Morinje naznaka velikog antropogenog utjecaja i eutrofikacije.

Upravo zbog usjećenosti u kopno i antropogenog utjecaja većim prinosom nutrijenata u unutrašnjim dijelovima uvale i zaljeva, fitoplanktonski sastav unutarnjih postaja obaju lokaliteta se razlikuje od fitoplanktonskog sastava vanjskih postaja. Vanjske postaje se nalaze na mjestima gdje se uvala i zaljev otvaraju prema otvorenom moru i gdje je antropogeni utjecaj manji, što se vidi i po većem udjelu mikrofitoplanktona (Slika 10). Prijašnja istraživanja pokazuju da su abundancija stanica mikro (i nano) frakcije povećava što je utjecaj sa kopna manji (Qiu i sur., 2010). Sastav i abundancija fitoplanktona unutarnjih postaja prikazuje stanje jače eutrofije

ekosustava, karakteristične za zatvorenije sustave sa velikim utjecajem sa kopna (Ninčević Gladan i sur., 2010).

Cilj ovog istraživanja je bilo utvrditi trenutno ekološko stanje dvaju priobalnih ekosustava, usporediti fitoplanktonske zajednice te procijeniti postojanje fitoplanktonskih indikatorskih vrsta trofije.

U vrijeme istraživanja, oba ekosustava su bila pritisnuta velikim antropogenim utjecajem sa okolnog kopna te su bila zasićena nutrijentima i snažnom primarnom produkcijom (uvala Makirina) tijekom ljetnog razdoblja. Ekološko stanje obaju priobalnih ekosustava je nepovoljno te se može opisati snažnom eutrofikacijom.

Sastav fitoplanktonske zajednice je vrlo sličan između dva ekosustava u kojima prevladavaju nanofitoplanktonski i mikorfitoplanktonski dinoflagelati i penatne dijatomeje. U velikoj abundanciji se javljaju vrste roda *Prorocentrum*, *Chaetoceros*, *Nitzschia* te ostale ne determinirane penatne dijatomeje.

Pronađene vrste *Prorocentrum minimum* i *Alexandrium* sp., kao potencijalni bioindikator eutrofikacije, upućuju na antropogeni pritisak, eutrofikaciju i zagađenost ekosustava.

Obalne lagune i slična priobalna staništa koja su pod velikim pritiskom na granici između kopna i mora je potrebno i dalje istraživati i pokušati kontrolirati proces eutrofikacije na umjerenoj razini koja nije pogubna za ekosistem i koja je optimalna za razvoj i bioraznolikost fitoplanktonskih zajednica.

Zadnja rečenica koja može zaključivati da je sastav fitoplanktona bolji pokazatelj nego samo chla (jer nije nešto velik) i hranjive soli. Ono daje jačinu svom radu.

6.

Literatura

- Anderson, D. M. (1998). Physiology and bloom dynamics of toxic *Alexandrium* species with emphasis on life cycle transitions. *NATO ASI Series*.
- Bell, P. R. F., & Elmetri, I. (1995). Ecological indicators of large-scale eutrophication in the Great Barrier Reef lagoon. *Oceanographic Literature Review*, 12(42), 1145.
- Bintz, J. C., Nixon, S. W., Buckley, B. A., & Granger, S. L. (2003). Impacts of temperature and nutrients on coastal lagoon plant communities. *Estuaries*, 26(3), 765. <https://doi.org/10.1007/BF02711987>
- Bosak, S., Mejdandžić, M., Piltaver, I. K., Petravić, M., Udovič, M. G., & Ljubešić, Z. (2017). Diversity of pennate diatoms in the plankton of the southern Adriatic Sea. In *23rd Nordic Diatomists Meeting 2017*.
- Bosak, S., Šilović, T., Ljubešić, Z., Kušpilić, G., Pestorić, B., Krivokapić, S., & Viličić, D. (2012). Phytoplankton size structure and species composition as an indicator of trophic status in transitional ecosystems: the case study of a Mediterranean fjord-like karstic bay**This study was funded by the Norwegian Cooperation Programme on Research and Higher Education with countries in the Western Balkans: ‘Marine Science and Coastal Management in the Adriatic, Western Balkans. An education and research network (2006–2009)’ and by the Ministry of Science, Education and Sport of the Republic of Croatia (Project Nos. 119-1191189-1228, 098-0982705-2729 and 001-0013077-0845). *Oceanologia*, 54(2), 255–286. <https://doi.org/https://doi.org/10.5697/oc.54-2.255>
- Bredemeier, M., Dennis, P., Sauberer, N., Petriccione, B., Török, K., Cocciufa, C., ... Pugnetti, A. (2007). Biodiversity assessment and change - The challenge of appropriate methods. *Issues in Environmental Science and Technology*, 25, 217–251. <https://doi.org/10.1039/9781847557650-00217>
- Burić, Z., Cetinić, I., Viličić, D., Mihalić, K. C., Carić, M., & Olujić, G. (2007). Spatial and temporal distribution of phytoplankton in a highly stratified estuary (Zrmanja, Adriatic Sea). *Marine Ecology*, 28(SUPPL. 1), 169–177. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2007.00180.x>
- Burić, Z., Viličić, D., Mihalić, K. C., Carić, M., Kralj, K., & Ljubešić, N. (2008). Pseudo-nitzschia blooms in the Zrmanja River estuary (eastern Adriatic Sea). *Diatom Research*, 23(1), 51–63.
- Bužančić, M., Ninčević Gladan, Ž., Marasović, I., Kušpilić, G., & Grbec, B. (2016). ScienceDirect Eutrophication in fl uence on phytoplankton community composition in three bays on the eastern Adriatic coast, 302–316. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2016.05.003>
- Caroppo, C., Congestri, R., Bracchini, L., & Albertano, P. (2005). On the presence of Pseudo-nitzschia calliantha Lundholm, Moestrup et Hasle and Pseudo-nitzschia delicatissima

- (Cleve) Heiden in the Southern Adriatic Sea (Mediterranean Sea, Italy). *Journal of Plankton Research*, 27(8), 763–774.
- Carstensen, J., Henriksen, P., & Heiskanen, A.-S. (2007). Summer algal blooms in shallow estuaries: Definition, mechanisms, and link to eutrophication. *Limnology and Oceanography*, 52(1), 370–384. <https://doi.org/10.4319/lo.2007.52.1.0370>
- Cetinić, I., Viličić, D., Burić, Z., & Olujić, G. (2006). Phytoplankton seasonality in a highly stratified karstic estuary (Krka, Adriatic Sea). *Hydrobiologia*, 555(1), 31–40. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1103-7>
- Chisholm, S. W., Frankel, S. L., Goericke, R., Olson, R. J., Palenik, B., Waterbury, J. B., ... Zettler, E. R. (1992). *Prochlorococcus marinus* nov. gen. nov. sp.: an oxyphototrophic marine prokaryote containing divinyl chlorophyll a and b. *Archives of Microbiology*, 157(3), 297–300. <https://doi.org/10.1007/BF00245165>
- Domingues, R. B., Barbosa, A., & Galvão, H. (2008). Constraints on the use of phytoplankton as a biological quality element within the Water Framework Directive in Portuguese waters. *Marine Pollution Bulletin*, 56(8), 1389–1395.
- Environment, E. C. D. (2017). *LIFE and Coastal Habitats*. <https://doi.org/10.2779/443494>
- European Environment Agency. (2009). Coasts and seas.
- Ferreira, J. G., Andersen, J. H., Borja, A., Bricker, S. B., Camp, J., Da Silva, M. C., ... Ignatiades, L. (2011). Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93(2), 117–131.
- Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 281(5374), 237 LP-240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>
- Fleming-Lehtinen, V., Andersen, J. H., Carstensen, J., Łysiak-Pastuszek, E., Murray, C., Pyhälä, M., & Laamanen, M. (2015). Recent developments in assessment methodology reveal that the Baltic Sea eutrophication problem is expanding. *Ecological Indicators*, 48, 380–388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.022>
- Foden, J., Devlin, M. J., Mills, D. K., & Malcolm, S. J. (2011). Searching for undesirable disturbance: An application of the OSPAR eutrophication assessment method to marine waters of England and Wales. *Biogeochemistry*, 106(2), 157–175. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9475-9>
- France, J., & Mozetič, P. (2006). Ecological characterization of toxic phytoplankton species (*Dinophysis* spp., *Dinophyceae*) in Slovenian mariculture areas (Gulf of Trieste, Adriatic Sea) and the implications for monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 52(11), 1504–1516.
- Giovanardi, F., Francé, J., Mozetič, P., & Precali, R. (2018). Development of ecological

- classification criteria for the Biological Quality Element phytoplankton for Adriatic and Tyrrhenian coastal waters by means of chlorophyll a (2000/60/EC WFD). *Ecological Indicators*, 93(May), 316–332. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.015>
- Gotsis-Skretas, O., & Friligos, N. (2016). Contribution to eutrophication and phytoplankton ecology in the Thermaikos Gulf.
- Heil, C. A., Glibert, P. M., & Fan, C. (2005). *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller: A review of a harmful algal bloom species of growing worldwide importance. *Harmful Algae*, 4(3), 449–470. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hal.2004.08.003>
- Komar, D., Dolenec, T., Dolenec, M., Vrhovnik, P., Lojen, S., Belak, Ž. L., ... Šmuc, N. R. (2015). Physico-chemical and geochemical characterization of Makirina bay peloid mud and its evaluation for potential use in balneotherapy (N Dalmatia, Republic of Croatia). *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 14(1), 5–12.
- Komar, D., Lambaša Belak, Ž., Dolenec, T., Dolenec, M., Vrhovnik, P., & Rogan Šmuc, N. (2013). Potentially toxic elements content in the surficial marine sediment (peloid) from Makirina bay (central Adriatic). *E3S Web of Conferences*, 1, 1–4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20130116006>
- Kruskopf, M., & Flynn, K. J. (2006). Chlorophyll content and fluorescence responses cannot be used to gauge reliably phytoplankton biomass, nutrient status or growth rate. *New Phytologist*, 169(3), 525–536.
- Marasović, I., Pucher-Petković, T., & Petrova-Karadjova, V. (1990). *Prorocentrum minimum* (Dinophyceae) in the Adriatic and Black sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 70(2), 473–476.
- Mihelčić, G., Kniewald, G., Ivanišević, G., Čepelak, R., Mihelčić, V., & Vdović, N. (2012). Physico-chemical characteristics of the peloid mud from Morinje Bay (eastern Adriatic coast, Croatia): Suitability for use in balneotherapy. *Environmental Geochemistry and Health*, 34(2), 191–198. <https://doi.org/10.1007/s10653-011-9434-y>
- Mihelčić, G., Lojen, S., Dolenec, T., & Kniewald, G. (2006). Trace metals conservation in Morinje Bay sediment: Historical record of anthropogenic imissions into a shallow Adriatic Bay. *Croatica Chemica Acta*, 79(1), 161–167.
- Moncheva, S., Boicenco, L., Sahin, F., Ediger, D., Culcea, O., Mavrodieva, R., ... Doncheva, V. (2011). II. 1. Phytoplankton. *State of Environment Report of the Western Black Sea Based on Joint MISIS Cruise*, 33.
- Najdek, M., Blažina, M., Djakovac, T., & Kraus, R. (2005). The role of the diatom *Cylindrotheca closterium* in a mucilage event in the northern Adriatic Sea: Coupling with high salinity water intrusions. *Journal of Plankton Research*, 27(9), 851–862. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbi057>
- Ninčević-Gladan, Ž., Skejić, S., Bužančić, M., Marasović, I., Arapov, J., Ujević, I., ... Vidjak, O.

- (2008). Seasonal variability in *Dinophysis* spp. abundances and diarrhetic shellfish poisoning outbreaks along the eastern Adriatic coast. *Botanica Marina*, 51(6), 449–463.
- Ninčević Gladan, Ž., Marasović, I., Grbec, B., Skejić, S., Bužančić, M., Kušpilić, G., ... Matić, F. (2010). Inter-decadal variability in phytoplankton community in the Middle Adriatic (Kaštela Bay) in relation to the North Atlantic Oscillation. *Estuaries and Coasts*, 33(2), 376–383.
- Nixon, S. W. (1995). Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41(1), 199–219. <https://doi.org/10.1080/00785236.1995.10422044>
- Pereira, P., Botelho, M. J., Cabrita, M. T., Vale, C., Moita, M. T., & Gonçalves, C. (2012). Winter–summer nutrient composition linkage to algae-produced toxins in shellfish at a eutrophic coastal lagoon (Óbidos lagoon, Portugal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 112, 61–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.07.016>
- Qiu, D., Huang, L., Zhang, J., & Lin, S. (2010). Phytoplankton dynamics in and near the highly eutrophic Pearl River Estuary, South China Sea. *Continental Shelf Research*, 30(2), 177–186.
- Smayda, T. J. (2000). Ecological features of harmful algal blooms in coastal upwelling ecosystems. *African Journal of Marine Science*, 22.
- Smith, V. H., Joye, S. B., & Howarth, R. W. (2006). 63_Smith, Val H., Samantha B. Joye, and Robert W. Howarth. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnol. Oceanogr.*, 51(1, part 2), 2006, 351–355. *Limnol. Oceanogr.*, 51(2), 351–355.
- Sournia, A., Chrdtinnnot-Dinet, M.-J., & Ricard, M. (1991). Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? *Journal of Plankton Research*, 13(5), 1093–1099.
- Survey, C. G., & Engineering, P. (2005). Ecosystem of Morinje Bay (Adriatic Sea , Croatia): Aspects of the Sediment / Water Interface, 52(1), 115–118.
- Svensen, C., Viličić, D., Wassmann, P., Arashkevich, E., & Ratkova, T. (2007). Plankton distribution and vertical flux of biogenic matter during high summer stratification in the Krka estuary (Eastern Adriatic). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(3–4), 381–390.
- Viličić, D. (1989). Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea. *Hydrobiologia*, 174(2), 117–132. <https://doi.org/10.1007/BF00014060>
- Viličić, D., Vučak, Z., Škrivanić, A., & Grzetić, Z. (1989). Phytoplankton blooms in the oligotrophic open South Adriatic waters. *Marine Chemistry*, 28(1), 89–107. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-4203\(89\)90189-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-4203(89)90189-8)